

# Wasserwiederverwendung und integriertes Stoffstrommanagement in Tunesien und Marokko

Die Ergebnisse aus mehreren Forschungsvorhaben zeigen, dass durch eine weitergehende Aufbereitung und Behandlung von (Industrie-)Abwässern und Klärschlämmen ein Beitrag zu geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreisläufen geleistet werden kann. Der Wasserbedarf übersteigt in Tunesien und Marokko die sich erneuernden Vorkommen. Düngemittel werden zugekauft und in der Landwirtschaft eingesetzt. In den dargestellten Projekten wird gezeigt, wie beide Ressourcen auch aus der Abwasseraufbereitung gewonnen und eingesetzt werden können.

**Manuel Krauss, Henry Risse et al.**

Die Länder der Maghreb-Region sind geprägt von einem Küstenstreifen mit landwirtschaftlich ertragreichen Böden, einer Steppenregion im Übergangsbereich und Ausläufern der Sahara im Süden. Die Niederschlagshöhen (NSH) sind regional sehr unterschiedlich. In den küstennahen Gebieten herrscht ein Mittelmeerklima mit jährlichen NSH zwischen 466 mm (Tunis) und 556 mm (Rabat), in den landesinneren Gebieten ein Wüstenklima mit NSH von 110 mm (Ouarzazate) bis 195 mm (Gafsa) [1].

Insbesondere durch eine wasserintensive Landwirtschaft wird das natürliche Wasserdargebot übernutzt. An diesem Einsatzzweck bemessen sich auch die Erfordernisse einer Wasserwiederverwendung. In beiden Ländern wurden in den letzten drei Jahrzehnten erhebliche Fortschritte in der Abwasserbehandlung gemacht. Schwerpunkt war in Tunesien im ausgehenden 20. Jahrhundert der Gesundheitsschutz, aber angesichts des starken Devisenumsatzes im Tourismus auch die Vermeidung von sichtbaren Abwasserflüssen und Gerüchen.

In Tunesien und Marokko stellen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von >100.000 Einwohnerwerten (EW) auf die Anzahl bezogen nur etwa 10 % dar. Diese reinigen in Tunesien 60 % und in Regionen in Marokko sogar 89 % der zu behandelnden Schmutzfracht. Generell besteht in Tunesien die Tendenz, vorhandene klei-

nere Kläranlagen zu größeren zusammenzulegen. In Marokko konzentrierten sich die Aktivitäten lange auf größere Städte bis im Jahr 2007 der „Nationale Abwasserplan“ (PNA – Plan National d’Assainissement) eine Strategie hervorbrachte, vollständige Abwasserableitung und -behandlung, auch im ländlichen Raum, umzusetzen [2].

Dass insbesondere in den Ballungsräumen viele Kläranlagen eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Größe für eine Klärschlammfäulung besitzen, begünstigt die in Tunesien vor einigen Jahren getroffene Entscheidung, sich für den technologischen Wechsel der anaeroben Klärschlammbehandlung zu öffnen. Bisher verfügen nur wenige Kläranlagen über eine Schlammfäulung [3].

Die Behandlung von Klärschlamm erfolgte in Tunesien bislang weitestgehend aerob: unter Zufuhr von Sauerstoff und damit dem Einsatz eines überdurchschnittlich hohen Energieaufwandes wird Klärschlamm – entgegen internationalem Standard auch bei Großkläranlagen bis 500.000 EW – im Belebungsbecken stabilisiert. Neben einem erhöhten Platzbedarf hat diese Technologie den Nachteil, dass die erreichten Stabilisierungsergebnisse aufgrund zu gering eingestellter Belüftungszeiten bzw. zu niedrigen Sauerstoffkonzentrationen in den Belebungsbecken zur spontanen Fäulung in den Eindickern führen. Das hat schlechte Entwässerungsergebnisse zur Folge und erschwert die anschließende geordnete Verwertung oder Entsorgung des Klärschlammes [4].

Für viele Städte Tunesiens existieren langfristige Klärschlamm-entsorgungskonzepte.

Drei große Achsen kennzeichnen den geforderten Umgang mit dem Klärschlamm:

1. Nutzung in Landwirtschaft und Landbau („der grüne Pfad“),
2. thermische Verwertung („der rote Pfad“) und
3. Deponierung („der schwarze Pfad“).

Die verantwortlichen Akteure in Tunesien sind heute hinreichend sensibilisiert, zunächst die Belastung des Klärschlammes zu bewerten, um über das Einschlagen des „grünen Pfades“ zu entscheiden. Schwermetalle, die zumeist aus der Einleitung von Abwässern Metall verarbeitender Firmen wie Batteriefabriken und von Gerbereien resultieren, sind die wichtigsten begrenz-

## / Kompakt /

- Klimawandel und intensive Landwirtschaft führen zu einer Übernutzung der vorhandenen Wasserressourcen in Marokko und Tunesien.
- Wasserwiederverwendung nach weitergehender Abwasserbehandlung und der Einsatz von organischen Reststoffen als Dünger eröffnet Chancen zur Minderung der Ressourcenknappheit in der Landwirtschaft.
- Zur flächendeckenden Umsetzung ist ein intensiver Stakeholderprozess erforderlich, der die lokalen Bedenken miteinbezieht.



**Bild 1:** Blick auf das gerade fertig gestellte NBS-System (Vordergrund) und des Containers der Entsalzungsanlage, eingebettet in das Gelände der GDA Sidi Amor, Tunesien

den Faktoren für diesen Pfad. Im roten Pfad nutzen Zementwerke die Klärschlämme als thermische Energiequelle in den Brennprozessen bei der Zementherstellung. Ein Problem hierbei ist, dass die Werke größtenteils nicht über die dazu notwendigen Abluftfilteranlagen verfügen.

In Marokko werden vielfach die Teichkläranlagen nicht vom Schlamm befreit. So wird das Entsorgungsproblem verdeckt, zumal die Reinigungsleistung zu wenig kontrolliert und überwacht wird. Die Klärschlämme der Belebtschlammanlagen werden üblicherweise auf dem Kläranlagengelände bzw. oft im Umfeld der Kläranlagen zwischengelagert sowie auf gemischten Deponien abgelagert. Die

Flächen der Kläranlagen sind jedoch begrenzt. Es war bekannt, dass Landwirte vielfach den in den Trockenbeeten weitgehend getrockneten Schlamm unkontrolliert auf ihren Äckern als kostengünstige Entsorgung ausbrachten. Das Gesundheitsministerium hat zur Vermeidung des Hygienrisikos die direkte Ausbringung verboten.

In Marokko werden Klärschlämme derzeit nicht stofflich verwertet [5]. Das Umweltmonitoring ist nicht ausreichend ausgebaut, teilweise erfüllen die Messwerte nicht die geforderten Qualitätsstandards; zu hohe Schwermetallgehalte und hygienische Parameter zeichnen sich dafür verantwortlich. Aus der Erfahrung des Forschungsinstituts für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) erschweren



## Wir sind jetzt eins.

Weber plus UNGER sind jetzt **WEBER-Ingenieure**.

Mit dem vereinten Ingenieur-Know-how unserer über 350 Mitarbeiter gehen wir in eine gemeinsame Zukunft.

Dank aller Ingenieurleistungen aus einer Hand, sind wir stark genug für große Herausforderungen und persönlich genug für kleinere, regionale Projekte.

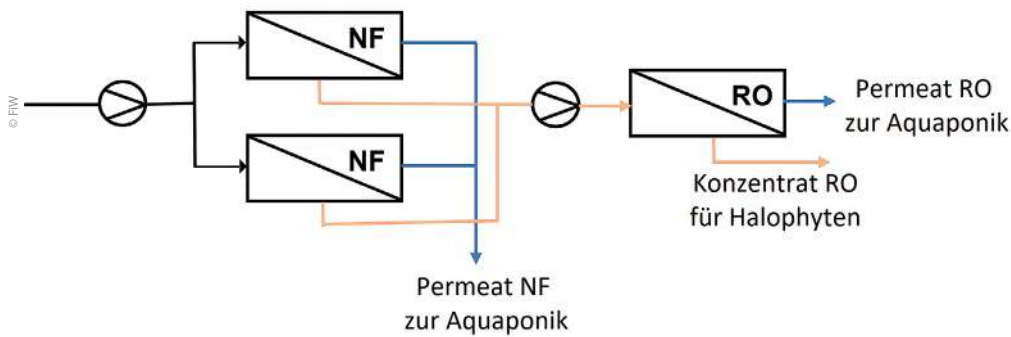
Erfahren Sie mehr unter [www.weber-ing.de](http://www.weber-ing.de)

Besuchen Sie uns auf der



Weltleitmesse für Umwelttechnologien  
30. Mai - 3. Juni 2022 | Messe München  
Halle B2 an Stand 127/226





**Bild 2:** Prinzipschema des gewählten Konzeptes zur Entsalzung im Projekt WaterReTune

in Bezug auf die landwirtschaftliche Verwertung vor allem hygienische Bedenken die Akzeptanz. Vom Großteil des Klärschlammaufkommens liegen jedoch keine Mengenangaben und Analysenwerte vor. Die landesweite Übertragung auf andere Kläranlagen ist durch sehr ungleiche Landwirtschafts- und Industriestruktur nicht repräsentativ und berücksichtigt auch nicht den Einfluss der installierten Abwasserbehandlungsstufen auf die Ablaufqualität. Heute werden Klärschlämme vor allem auf Deponien entsorgt.

## WaterReTUNE - Beispiel für Innovation und Umsetzung

Im vom BMBF geförderten Vorhaben WaterReTUNE werden derzeit (Stand März 2022) innovative Technologien zur Nachbehandlung und Verwertung von biologisch gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen in Tunesien demonstriert. Ziel ist, eine stabile wirtschaftliche Prozesskette zur diversifizierten Verwertung des bisher in Tunesien wenig genutzten Potentials von gereinigtem Abwasser zu erschließen. Dazu wurden sog. „Nature Based Solutions“ (NBS), ein innovatives Membranbehandlungssystem zur Produktion von hochwertigem teilentsalztem Reuse-Wasser für Bewässerungszwecke, innovative Sole-Behandlungen zur Nährstoffrückgewinnung und zum Halophytenanbau sowie eine kreislaufgeführte angepasste Aquaponik-Produktion kombiniert.

Als Ausgangspunkt und Ideengeber diente eine Pilotanlage aus dem BMBF-Projekt „Abwassereinigungsverfahren im regionalen Strukturwandel“ - AWAREGIO auf der KA Moers Gerdt. Zu Projektbeginn diente diese zudem als Basis für einen Know-how-Transfer und Know-how-Austausch in Deutschland.

Aus dem Projekt AWAREGIO werden Erfahrungen zur Leistungsfähigkeit und zum Betrieb von NBS-Systemen übertragen. Es wurden über mehrere Monate auch Erkenntnisse aus der Speisung einer Niederdruck-Umkehrosmose (RO) mit in NBS-Systemen weitergehend vorbehandelten Abwässern gewonnen. Umfangreiche Erfahrungen aus der Aquaponik, die bei hohen Temperaturen in den Sommern 2018 und 2019 betrieben wurde, bringt der Projektpartner Terra Urbana ein.

Auf dem Gelände der tunesischen Nichtregierungsorganisation „Groupement de Développement Agricole“ – GDA Sidi Amor werden nun die verschiedenen Komponenten in das Gesamtsystem eingebunden und die unterschiedlichen Wasserqualitäten für die Kultivierung ökonomisch aussichtsreicher Nutzpflanzen erprobt. **Bild 1** zeigt das NBS-System – ein vertikal durchflossener Boden-

filter und den Container der Entsalzungsanlage auf dem Gelände der GDA Sidi Amor kurz nach der Fertigstellung bzw. Bepflanzung. Letztere erfolgte mit salztoleranten Pflanzen, da das vorgereinigte Abwasser erhöhte Salzgehalte aufweist.

Mittels modifizierter naturnaher Lösung bestehend aus einem kleinen Moving bed biofilm reactor (MBBR) und einem vertikal durchflossenen Bodenfilter werden die Kläranlagenabläufe weitergehend gereinigt. Dies betrifft insbesondere die Minimierung der Konzentrationen an organischen Inhaltsstoffen, die Nitrifikation und die Hygieneparameter. Die weitgehende Elimination der organischen Stoffe ist dabei wesentliche Voraussetzung für den stabilen Betrieb der folgenden NF bzw. RO-Membranen.

Für eine uneingeschränkte Wasserwiederverwendung ist eine (Teil-)Entsalzung der behandelten Kläranlagenabläufe notwendig, um bei dauerhafter Applikation auf Ackerböden deren Versalzung zu vermeiden. Dafür wurde in enger Abstimmung mit den tunesischen Partnern ein Konzept gewählt, dass Nanofiltrationsmembranen (NF) in einer ersten Stufe zur Teilentsalzung nutzt und in einer zweiten Stufe den Abproduktstrom der NF – das Konzentrat der ersten Entsalzungsstufe in eine zweite Entsalzungsstufe (RO) einspeist (**Bild 2**).

Erste Ergebnisse bestätigen die These, dass die NF-Membran in der Lage ist, bei einem geringen Druck von 3 bis 4 bar und damit geringem Energiebedarf eine Wasserqualität zu liefern, die zum einen hygienisch unbedenklich ist, die persistenten organischen Stoffe des Ablaufs aus der Vorbehandlung weitgehend zurückhält und schließlich einen Salzgehalt aufweist, der etwa Trinkwasserqualität entspricht. Das NF-Permeat ist somit multifunktional nutzbar. Im Projekt wird das teilentsalzte Wasser zum Teil in die Aquaponik eingespeist, der Rest steht für die gärtnerische Bewässerung zur Verfügung.

Weiterhin werden Versuche zur Kultivierung von salztoleranten Pflanzen durchgeführt, die mit dem Konzentrat der NF bzw. der RO beschickt werden. Damit wird ein Ansatz verfolgt, der eine Verwertung und Nutzbarmachung der Konzentrate ermöglichen soll.

Die Erprobung der Wiederverwendung der teilentsalzten Wasser in einer Aquaponik dient dazu, unter den subtropischen Bedingungen eine kombinierte Fisch-Pflanzenzucht mit minimalem Wasserbedarf und möglichst optimaler Nährstoffverwertung zu erproben.

Hier wurde in Zusammenwirken mit den tunesischen Partnern eine Aquaponikanlage aufgebaut, in der verschiedene Kulturen - Gemüse, Kräuter, Blumen unter den Klimabedingungen Tunesiens in aquaponischer Kultivierung angebaut werden. Eine erfolgreiche

Implementierung der Kombination aus NBS und Niederdruck-RO, verbunden mit den neuen angepassten Ansätzen zur Pflanzenproduktion und Konzentratverwertung hat das Potential, beispielgebend für viele Regionen im Maghreb zu sein.

## I-WALAMAR – Beispiele für einen integrierten Ansatz zur Verwertung der Produkte aus Olivenölproduktion und kommunaler Abwasserbehandlung

Das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „Innovatives Wasser- und Landmanagement in Marokko“ – I-WALAMAR beschäftigt sich mit der Kreislaufführung der Reststoffe der Olivenölproduktion sowie der alternativen Ressourcennutzung in der Landwirtschaft (**Bild 3**). Reststoffe, die heute zu Umweltbelastungen führen, sollen zukünftig als Wertstoffe zur Resilienz und Fruchtbarkeit von Böden beitragen.

In der Fès-Meknès-Region (FMR) im Nordosten Marokkos, am Übergang zur Sahara hat eine Intensivierung und Kommerzialisierung, neben ökonomischen und sozialen Folgen, auch bedeutende negative Auswirkungen auf die Boden- und Wasserressourcen. Neben der Übernutzung natürlicher Wasserressourcen treten jährlich in der Erntezeit von November bis Februar nennenswerte Umweltbelastungen in der Saïss-Hochebene, dem landwirtschaftlichen Hauptanbaugebiet des I-WALAMAR-Untersuchungsgebietes, auf, die auf die Abwässer der Olivenölproduktion zurückzuführen sind. Bodendegradation und Klimawandel sind weitere Stress induzierende Faktoren [6].

Ein Fokus liegt in der Untersuchung von geeigneten, an die Gegebenheiten vor Ort angepassten Umweltanalytik-Schemata, um die Voraussetzung für die landwirtschaftliche Verwertung der Reststoffströme zu schaffen und die gesellschaftlichen Transformationsprozesse zu analysieren. Darüber hinaus werden, zusammen mit landwirtschaftlichen Forschungspartnern und kleinen Industriebetrieben, Techniken untersucht und demonstriert, um Klärschlamm in Kombination mit landwirtschaftlichen Reststoffen so aufzubereiten und in den Boden einzuarbeiten, dass einerseits die

hygienische Sicherheit garantiert und andererseits die Bodenresilienz und Fruchtbarkeit erhöht werden.

Mit einer IST-Zustandsaufnahme mit Vor-Ort-Begehungen, Messungen und strukturierten Vor-Ort-Interviews mit Stakeholdern wurden Grundlagen geschaffen und Rahmenbedingungen erfasst, die in die Bewertung der technischen Umsetzbarkeit und die Akzeptanz der Bevölkerung einfließen. Insbesondere werden die lokalen Wandelprozesse, wie Strukturwandel, Arbeitsmarktveränderungen und Migrationen berücksichtigt. Ein Konzept für ein integriertes Wasserressourcenmanagement und eine begleitende Analyse landwirtschaftlicher Transformationsprozesse sind in Bearbeitung.

Durch eine Stoffstrombilanz auf Basis von Literaturdaten für die Kläranlage in Meknès und die Olivenölproduktion in der Region konnte gezeigt werden, dass die quantitativ größten Potentiale für eine Wasserwiederverwendung in der weitergehenden Aufbereitung des anfallenden Abwassers aus dem Ablauf der kommunalen Kläranlage liegen. Ein Recycling der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff hingegen erscheint aus den Reststoffströmen der Olivenölproduktion heraus am zielführendsten. Die Reststoffströme aus der Produktion enthalten auch Polyphenole, welche in der Industrie als Wertstoffe gehandelt werden, in der Umwelt in vielen Fällen dagegen zu Problemen führen. Dem skeptisch begegneten Stoffstrom Klärschlamm fällt in dieser Betrachtung das geringste Potential für eine Wiederverwendung von Wertstoffen zu. Insbesondere für die Reststoffe der Olivenölproduktion werden im Vorhaben verschiedene Einsatzmöglichkeiten erarbeitet. Die Erprobung insbesondere der Produkte in landwirtschaftlichen Testversuchen befindet sich derzeit (März 2022) noch in der Umsetzungsphase.

### Aufbereitung von Polyphenolen aus der Olivenölproduktion – Vom Schadstoff zum Wertstoff

In den Reststoffströmen der Olivenölproduktion sind Polyphenole enthalten, die teilweise umwelttoxisch wirken. Abhängig von dem



**Bild 3:** Olivenhain bei Meknès

verwendeten Prozess in der Produktion (traditionelles Pressverfahren, 2-Phasen-Dekanter, 3-Phasen-Dekanter) fallen verschieden zusammengesetzte Mengen flüssiger (Fruchtwasser) und fester (Fruchtbrei) Reststoffströme an. Durch eine Wiedernutzung der Wertstoffe (Nährstoffe in der Landwirtschaft und Polyphenole in der Chemieindustrie) kann die Einleitung in die Umwelt verhindert und eine wirtschaftliche Weiternutzung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft gewährleistet werden.

Den vor allem in den Waschwasserfraktionen vorkommenden Polyphenolen (oder auch Biophenolen) kommt hierbei ein möglicher Nutzen als Wertstoff zu. Das Vorhandensein bestimmter Polyphenole in Olivenöl in ausreichender Menge erlaubt dem Hersteller das Produkt mit positiven Auswirkungen auf die Gesundheit zu bewerben. Sie besitzen antimikrobielle und antioxidative Eigenschaften und sind daher potentielle natürliche Zusatzstoffe für u. a. die Kosmetik- oder Ernährungsindustrie. Daher lohnt es sich, diese Verbindungen als weit mehr als reine Schadstoffe in Abwasserströmen zu betrachten. Die Gehalte an wertvollen Polyphenolfractionen werden im Vorhaben weitergehend quantitativ und qualitativ erfasst. Hauptsächlich werden die beiden Vertreter Tyrosol und Hydroxytyrosol betrachtet, die auch in den größten Anteilen in den bisher untersuchten Proben vorhanden sind (**Bild 4**).

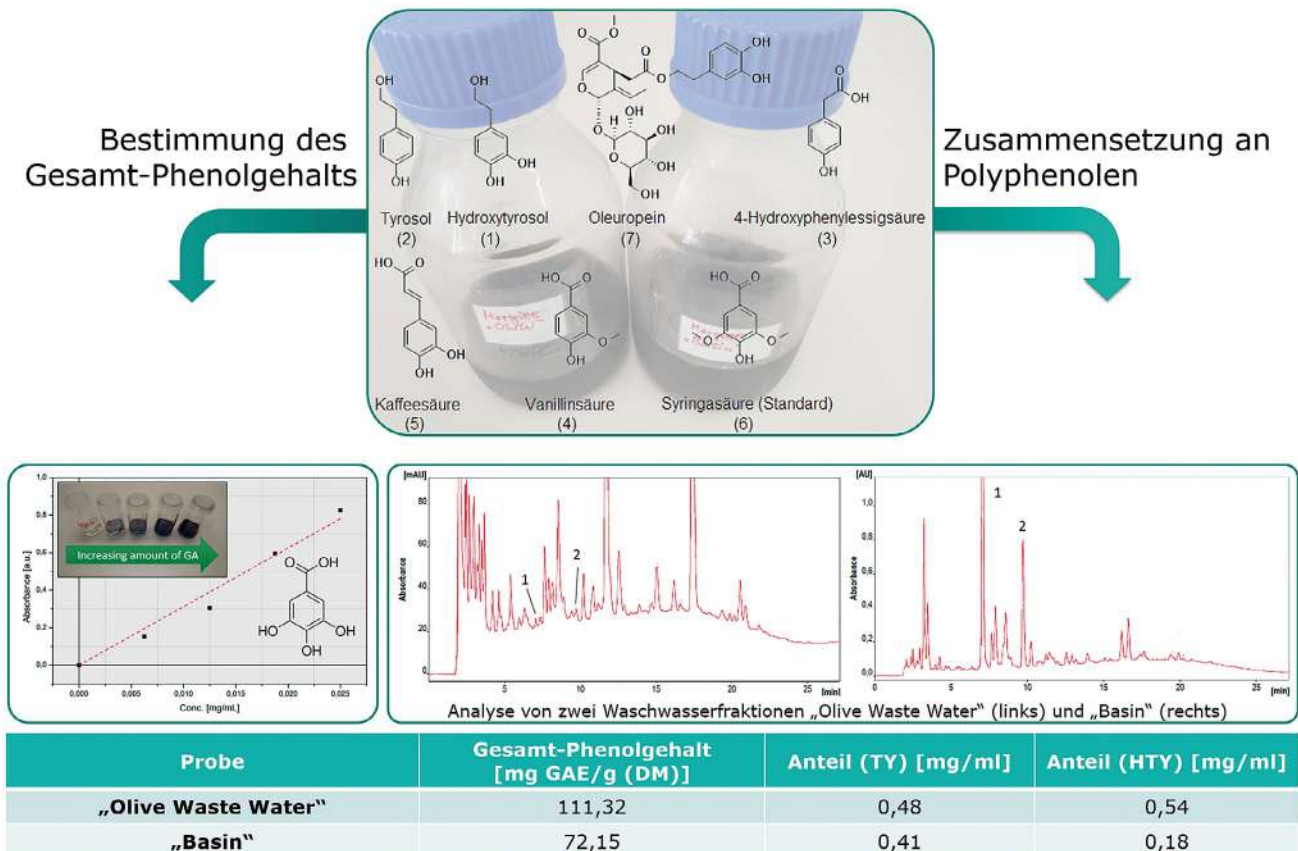
In einem innovativen Trennverfahren der Firma GEA konnten die Polyphenole aus dem Fruchtbrei (2-Phasen-Dekanter) heraus in

ein Prozesswasser angereichert werden. Aus diesem Wasser lassen sich die abgetrennten Substanzen isolieren und weiter reinigen. Wie effizient die Abtrennung der Verbindungen, vor allem bezüglich der Selektivität einzelner Polyphenole, durchgeführt werden kann, wird noch untersucht. In dem Prozess entsteht zudem eine phenol-reduzierte feste Phase, deren Anwendbarkeit in der Landwirtschaft als Bodenhilfsstoff noch getestet wird.

Die Phenol-angereicherte flüssige Phase wird verwendet, um die darin enthaltenen Polyphenole über dafür angepasste polymere Materialien und Materialkomposite mit natürlichen Rohstoffen (wie bspw. ebenfalls in Marokko vorkommendem Ghassoul) im Labormaßstab abzutrennen. Im Anschluss erfolgt eine Rückgewinnung dieser Wertstoffe von den Materialien. Gute adsorptive Eigenschaften zur Aufnahme von Phenolen aus Olivenwaschwassern konnten bereits gezeigt werden.

### Fazit

Wie in den beiden Forschungsprojekten gezeigt werden konnte, besteht ein Potenzial hin zur Wasserwiederverwendung und Kreislaufführung der Reststoffströme aus Siedlungswasserwirtschaft und Olivenölproduktion. In der konkreten Umsetzung bestehen weiterhin Herausforderungen – kultureller, rechtlicher und technischer Natur.



**Bild 4:** Verschiedene Polyphenole und deren Vorkommen (hier wurden quantitativ Tyrosol und Hydroxytyrosol betrachtet) in wässrigen Rückständen der Olivenölproduktion zweier Waschwasserfraktionen des marokkanischen Projektpartners

Die technische Realisierbarkeit, auch hinsichtlich der Einhaltung strenger gesetzlicher Vorgaben und hygienischer Parameter, sowie die wirtschaftliche Tragfähigkeit von geeigneten Aufbereitungsverfahren sind zunehmend gegeben. In WaterReTUNE konnte gezeigt werden, dass durch eine situationsangepasste weitergehende Abwasserbehandlung das geklärte Abwasser zur Wiederverwendung in Tunesien aufbereitet werden kann. Eine lokale Anpassung der Wiederverwendung im direkten Dialog mit lokalen Stakeholdern ist essentiell, um die Akzeptanz zu gewährleisten. Einige der entwickelten Verfahren, wie die Verwendung eines Bodenfilters, nehmen explizit kulturelle Randbedingungen mit auf und steigern so die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Verwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft.

In den betrachteten Regionen gibt es kein umfassendes Monitoring, sodass eine Einschätzung zur Verwendung der Klärschlämme verschiedener Kläranlagen nicht flächendeckend gegeben ist. Dies gilt ebenso für eine Einschätzung der Auswirkungen der Olivenölproduktion in der Fläche. Die vorhandenen Daten stehen den betroffenen Landwirten und Behörden häufig nicht zur Verfügung. In I-WALAMAR wird der Fokus daher auf ein integriertes Stoffstrommanagement und damit auf die erfolgreiche Wieder- bzw. Weiterverwendung von (Teilen) der Reststoffströme gelegt. Durch eine In-Wert-Setzung der Stoffe, beispielsweise durch die Anreicherung von Polyphenolen für die Chemieindustrie, oder auch die Verwendung von Reststoffen in der Landwirtschaft, werden Möglichkeiten aufgezeigt die Stoffströme in die Kreislaufwirtschaft zu überführen.

### Danksagung:

Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte WaterReTUNE (FKZ 01DH1902A), IWALAMAR (FKZ 01LZ1807A) und AWAREGIO (FKZ 02WPS1399A) werden bzw. wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die Veröffentlichung basiert auf den Ergebnissen aus den Projekten und beruht auf der Zusammenarbeit mit den Partnern in den genannten Verbundprojekten. Wir danken allen Projektpartnern für die hervorragende Zusammenarbeit.

In WaterReTUNE sind die Projektpartner die Firma Terra Urbana Umlandentwicklungsgesellschaft mbH, das „Centre de Recherche et des technologies des eaux“ – CERTE (Wasserforschungsinstitut), das „Institut National Agronomique de Tunisie“ – INAT (Agrarforschungsinstitut) sowie die Nichtregierungsorganisation „Groupe de Développement Agricole“ – GDA Sidi Amor und die ONAS als Betreiber der Kläranlagen in Tunesien als assoziierte Partner. Das Projekt wird intensiv durch die beiden tunesischen Forschungseinrichtungen CERTE und INAT begleitet; die Anlage wird durch diese Partner sowie GDA Sidi Amor betrieben.

Projektpartner in I-WALAMAR sind das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim (UHOH), das Institut für Angewandte Polymerchemie (IAP) der Fachhochschule Aachen, das Bonn International Centre for Conflict Studies (BICC), SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG und innoAgri GmbH sowie auf marokkanischer Seite die „Université Moulay Ismail“ (universitäre Institute aus verschiedenen Fachbereichen) – UMI, die „École nationale d'agriculture“ (Nationale Landwirtschaftsschule in Meknès) –

ENA, das Institut „Agronomique et Vétérinaire Hassan II“ (Wasserforschungsinstitut) – IAV. Die „Agence du Bassin Hydraulique de Sebou“ (Wasserbehörde in Fès), „Régie Autonome de Distribution Eau et Electricité Meknès“ (Kläranlagenbetreiber in Meknès) – RADEM und OLEAFOOD (Olivenölproduzent).

### Literatur

- [1] Wetterkontor, 2020. Niederschlagsdaten Nordafrika im Zeitraum 1961 bis 1990, [https://www.wetterkontor.de/de/klima/klima\\_noerdliches-afrika.html](https://www.wetterkontor.de/de/klima/klima_noerdliches-afrika.html). Letzter Abruf: 27.01.2020
- [2] FiW e. V., 2012. Elaboration de la stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration urbaine et industrielles. Auftraggeber: Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement du Royaume Maroc (im Unterauftrag von Phénix Maroc)
- [3] FiW e. V., 2016. Aus- und Fortbildung von Personal der ONAS in anaerober Klärschlammbehandlung und energetischer Faulgasverwertung. Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [4] FiW e. V., 2015. Etude de plan directeur régional de gestion des boues des stations d'épuration de la Région du Sud / Nord. Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [5] FiW e. V., 2011. Etude pour l'élaboration de la stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [6] Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, 2019. Présentation du bassin, <http://www.abhsebou.ma/presentation-du-bassin/> Letzter Abruf: 11.03.2022

### Autoren

**Dipl.-Ing. Manuel Krauss**

**Dr.-Ing. Henry Risse**

**Janine Möller, M.Sc.**

**Dr.-Ing. Wolfgang Kirchhof**

**Ahlem Jomaa, M.Sc.**

**Dr.sc. Dipl.-Ing. Frank-Andreas Weber**

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft

an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Kackertstraße 15-17, 52056 Aachen

[risse@fiw.rwth-aachen.de](mailto:risse@fiw.rwth-aachen.de)

**Dr. rer. nat. Dominik Schmitz**

**Prof. Dr. rer. nat. Markus Biel**

FH Aachen

Institut für Angewandte Polymerchemie (IAP)

Heinrich-Mußmann-Straße 1

52428 Jülich



### Klärschlamm



Bux, M.; Wasmuth, K.: Solare Trocknung, dezentrale Energiegewinnung und Phosphor-Recycling aus Klärschlamm. In: Wasser, Energie und Umwelt, Band II. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. [www.springerprofessional.de/link/20122968](http://www.springerprofessional.de/link/20122968)

Franck, J.; Wittstock, R.: Innovative Verfahren zur Klärschlammbehandlung – Eine Auswahl. In: Wasser, Energie und Umwelt, Band II. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. [www.springerprofessional.de/link/20122960](http://www.springerprofessional.de/link/20122960)

# Verbesserung der Trinkwasserversorgung im Katastrophenfall in Kamerun

Aufgrund ihrer geographischen Lage und meteorologischen Verhältnisse sind Teile Kameruns regelmäßigen Überschwemmungen ausgesetzt. Ein Deutsch-Kamerunisches Konsortium entwickelt hier u. a. Maßnahmen zur Hochwasservorsorge und -bewältigung sowie zur Versorgung mit sauberem Trinkwasser im Hochwasserfall. Dabei kommen innovative Methoden der Fernerkundung zum Einsatz, kombiniert mit einer Weiterentwicklung von Monitoring- und Betreiberkonzepten für eine eigenverantwortliche Verwaltung der Trinkwasseraufbereitungsanlagen zur Notwasserversorgung in den Projektgebieten.

Lennart Schelter, Mark Braun et. al.

In Kamerun kommt es in Küstenregionen und Regionen mit tropischen Starkregenereignissen regelmäßig zu Überschwemmungen, unter deren Auswirkungen besonders die ärmere Bevölkerung leidet. Die klimawandelbedingte Zunahme von extremen Niederschlägen und ein rapides Bevölkerungswachstum insbesondere in den Städten verschärfen die Situation zusätzlich. Daten über Ausmaß und Dauer von Überschwemmungsereignissen werden nicht systematisch erfasst, und es existieren bislang keine Konzepte zur Prävention und Bewältigung von Überflutungs- und Dürreereignissen. Daher kommt es immer wieder zu ähnlichen Auswirkungen der Ereignisse, die die hygienischen und gesundheitlichen Bedingungen in den Siedlungsgebieten erheblich beeinträchtigen.

Die Urbanisierung in Kamerun entwickelt sich kontinuierlich weiter, von 15 % der Bevölkerung in 1950 zu etwa 58 % der Bevölkerung in 2020, die in Städten leben [1]. Kamerun weist mit einer Urbanisierungsrate von 55 % eine deutlich höhere Rate als West- und Zentralafrika mit jeweils 46 % auf [2].

Die städtebauliche Entwicklung kann häufig nicht mit diesem Wachstum mithalten, und einkommensschwache Haushalte siedeln aufgrund des limitierten Platzangebots in überflutungsgefährdete Tieflagen der Städte. Diese Gegenden sind oft nicht als Siedlungs-

fläche ausgewiesen, da die Überflutungsproblematiken bekannt sind. Aus Platzmangel und wirtschaftlicher Notwendigkeit heraus werden sie dennoch besiedelt.

Diese städtebaulich nicht vorgesehene Entwicklung von Wohnraum geht häufig mit unzureichender Wasserversorgung und mangelndem Zugang zu sanitären Einrichtungen einher. Dies erhöht das Risiko für wasserbezogene Krankheiten. Durchfallerkrankungen sind die häufigsten durch Wasser übertragenen Krankheiten bei Kindern unter fünf Jahren in Kamerun. In der Hauptstadt Jaunde stieg die Prävalenzrate von 10,8 % in 1998 auf 13,1 % in 2004 [3].

Die Versorgung mit Wasser für den täglichen Gebrauch und damit zumeist auch mit Trinkwasser erfolgt in der Regel durch flache Brunnen mit einer Tiefe von wenigen Metern. Diese Brunnen sind meist nicht gefasst oder geschützt. Insbesondere nach Hochwasserereignissen sind diese auf Grund von Überflutungen der Brunnen nicht als sichere Wasserquelle geeignet. Die Problematik ist Teilen der Bevölkerung bewusst. Soweit möglich wird dann auf Brunnen ohne Überflutungsproblematik ausgewichen. Weiter verschärft wird diese Situation durch die weite Verbreitung von Latrinentoiletten in den Haushalten und der Abwasserführung in offenen Entwässerungsgräben. Bei Hochwasser werden Fäkalien aus den Latrinen und Gräben gespült, was zu deren Infiltration in Böden und Brunnen führt. In vielen Fällen wurde berichtet, dass Anwohner die Überschwemmungen nutzen, um ihre Latrinen auszuspülen, da deren fachgerechte Entleerung ansonsten mit Kosten verbunden wäre. Daher herrscht insbesondere nach einer Hochwasserkatastrophe ein enormes Risiko für fäkal-kontaminiertes Wasser aus den örtlichen Brunnen, bis diese gereinigt und desinfiziert wurden.

## Ziele und Vorgehen bei Einrichtung einer Katastrophenvorsorge durch Wasseraufbereitung und Eigenverantwortung

Das wesentliche Ziel des Projektes INTEWAR ist es, durch Überschwemmungen und Dürre induzierte gesundheitliche Gefahren für die zivile Bevölkerung zu reduzieren. Hierfür hat das interdisziplinäre Konsortium aus dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen (IWW), dem Institut für Hygiene und Public Health

### / Kompakt /

- Regelmäßige Überschwemmungen stellen in Kamerun eine große Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung dar.
- Ein Katastrophenmanagement für eine nachhaltige Trinkwassersicherheit muss auf ganzheitlicher Betrachtung und Eigenverantwortung beruhen.
- Eine Kombination handelsüblicher Technik, frei verfügbare Software und eine robuste Wasseraufbereitungsanlage mit Trainingsmaßnahmen und Wissensvermittlung für die Bevölkerung sind notwendig.
- Ein eigenverantwortlicher Betrieb von Trinkwasseraufbereitungsanlagen sorgt im Katastrophenfall für sauberes Trinkwasser.

(IHPH) am Universitätsklinikum Bonn, dem Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin (IASU) am Universitätsklinikum Aachen und der PAULA Water GmbH unter Leitung und Koordination des Forschungsinstitutes für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e. V. einen dreijährigen Arbeitsplan entwickelt. In einem ersten Schritt wird die Bestandsaufnahme der mikrobiellen und chemischen Qualität des Trinkwassers an ausgewählten Quellen, sowie eine Risikokategorisierung der Quellen bzgl. ihrer Anfälligkeit gegenüber Überflutungen vorgenommen. Außerdem wird die subjektive Risikowahrnehmung der betroffenen Bevölkerung durch eine Haushaltsbefragung ermittelt. Nach Hochwasserereignissen soll als Teil der Katastrophenhilfe sauberes Trinkwasser mithilfe von Ultrafiltrationsanlagen der Firma Paula Water GmbH bereitgestellt werden und darüber hinaus die betroffenen Menschen zu Themen wie Trinkwasserhygiene, Katastrophenvorsorge und -bewältigung geschult werden. Die Trinkwasseraufbereitungsanlage soll langfristig und nachhaltig in Eigenverantwortung durch ein in Zusammenarbeit mit lokalen Stakeholdern ausgewähltes Wasserkomitee und anhand eines abgestimmten Betreiberkonzepts betrieben werden und so die Versorgung sichern. Als wichtige Grundlage für die Katastrophenpläne sowie die Platzierung der Wasseraufbereitung dienen Hochwassergefahren- und -risikokarten, die mithilfe von Drohnenshots und numerischen Abflussmodellen berechnet werden.

## Projektregion und -gebiete

Im Rahmen dieses Vorhabens werden Lösungsansätze mit den folgenden Sicherheitsszenarien erarbeitet:

- Douala: Überschwemmung infolge Starkregen, Fluss-/Küstenüberschwemmung,
- Soa: Überschwemmung infolge Starkregen.

Die Gefährdungen und die daraus resultierenden Sicherheitsszenarien unterscheiden sich in den beiden Pilotgebieten erheblich.

Douala liegt im Wouridelta an der Atlantikküste und ist immer wieder von Fluss- und Küstenüberschwemmungen, aber auch von Starkregenereignissen, betroffen. Aufgrund der flachen Topographie sind Überschwemmungen langanhaltend und führen zur langfristigen Kontamination von Trinkwasserquellen.

Soa ist ein periurbanes Siedlungsgebiet in der Peripherie von Jaunde und verfügt über keine größeren Oberflächengewässer zur Trinkwasserentnahme. Bei länger anhaltenden Trockenperioden kommt es zu Problemen mit der Trinkwasserversorgung. Außerdem führen lokale Starkniederschlagsereignisse zu Überschwemmungen. Die Topographie mit vielen Hügeln und Tälern stellt im Fall von Starkregenereignissen und Überschwemmungen eine andere Herausforderung dar, als im flachen Delta Doualas.

Die Untersuchungsgebiete sind größtenteils Wohngebiete, in denen auch subsistenzlandwirtschaftliche und industrielle Aktivitäten stattfinden.

## Von Drohnenshots zu Hochwassergefahrenkarten

Ein wichtiger Bestandteil der Vorsorgekonzepte sind Hochwassergefahren- und -risikokarten. Diese können auch bei geringer Daten-

## Verbundvorhaben INTEWAR

Das Verbundvorhaben „INTEWAR – Innovative Technologien zur Eindämmung wasserassoziierter Krankheiten“ widmet sich den Themen Hochwasser und Dürre im afrikanischen Staat Kamerun, die dort oft katastrophale Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie auf ökonomische und ökologische Werte haben. Hauptziel des Vorhabens ist die Eindämmung gesundheitlicher Risiken nach Hochwasserereignissen. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.



GEFÖRDERT VOM



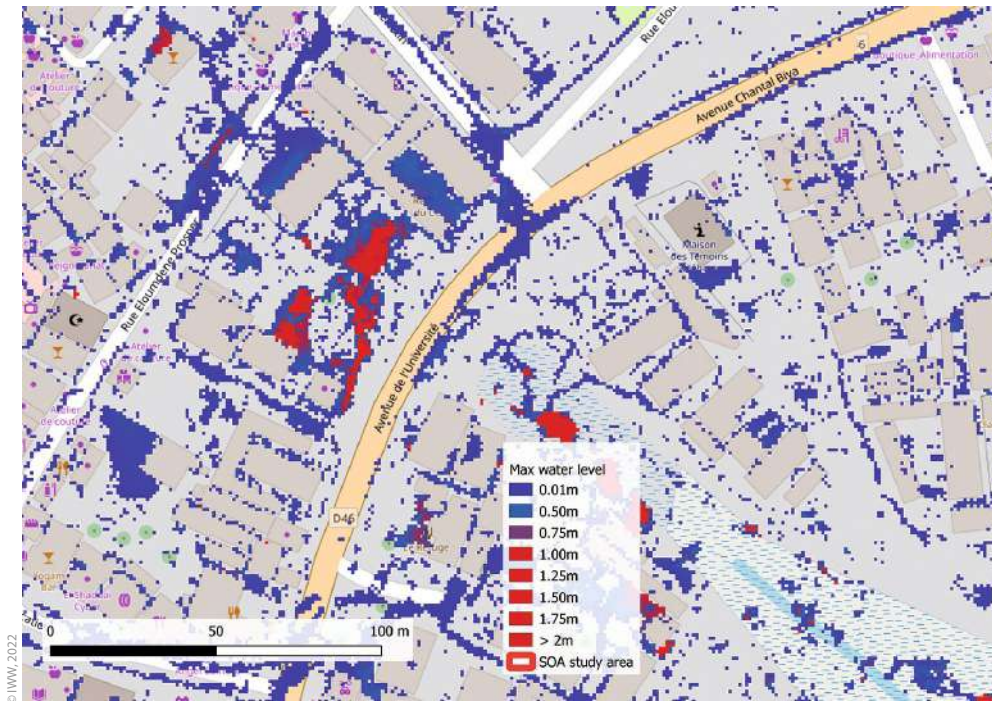
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

basis und bestehender Informationsinfrastruktur erstellt werden, beispielhaft mithilfe von Drohnen und Verfahren der Photogrammetrie.

Im Projekt ist das IWW der RWTH Aachen verantwortlich für die Erstellung digitaler Geländemodelle der Projektgebiete in Kamerun, die Berechnung hydraulischer Abflusssimulationen sowie die anschließende Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten. Die verfügbaren Geländemodelle aus Satellitendaten bieten eine nur unzureichende räumliche Auflösung für eine detaillierte Abflusssimulation. Entsprechend wurde eine innovative Methode zur Erstellung hochauflösender digitaler Geländemodelle gewählt.

Mit Hilfe handelsüblicher Drohnen hat eine kamerunische Firma, Société de Géomatique et d'Expertise Foncière à l'International (SOGEFI) im Rahmen eines Unterauftrags Luftaufnahmen des Projektgebietes gemacht. Diese werden so aufgenommen, dass sie großzügige Überschneidungsflächen aufweisen und so jeden Punkt im Projektgebiet aus mehreren Beobachtungswinkeln abbilden können. Mit diesen Bildern kann mittels Verfahren der Photogrammetrie über Triangulation eine dreidimensionale Punktwolke aus einzelnen Punkten erstellt werden, die auf mehreren Fotos identifiziert werden können. Diese Punktwolke kann viele Millionen Punkte enthalten und daher in eine Oberfläche umgerechnet werden, die eine erste Stufe des Geländemodells darstellt. Da die Fotos nicht überall tatsächlich die Erdoberfläche abbilden, sondern die Sicht auf den Boden von Pflanzen verdeckt wird, wird ein Vegetationsfilter auf das Geländemodell angewendet, um diese vermeintlichen Fehlerquellen zu verringern. Über





**Bild 1:** Beispielhafter Ausschnitt einer Hochwassergefahrenkarte mit maximalem Wasserstand während eines Niederschlagsereignisses. Rote Bereiche mit Wasserständen über 1 m sind deutlich erkennbar

dieses Verfahren konnte für die Projektregion in Soa ein digitales Geländemodell mit hoher Auflösung errechnet werden.

Auf Grundlage dieser Geländedaten in Kombination mit Niederschlagsdaten aus der etablierten GPM (Global Precipitation Measurement) Satellitenmission kann nun ein hydraulisches Abflussmodell in ProMaIDes (Protection Measures against Inundation Decision support) erstellt werden. Dieses Modell berechnet numerisch die Abflussmenge, -akkumulation, Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Modellgebiet. Dabei können verschiedene repräsentative Regenereignisse verwendet werden, um unterschiedliche Szenarien und Jährlichkeiten der Niederschlagsereignisse abzubilden.

Die Auflösung des Modells beträgt 1 m im Bereich der Drohnenaufnahmen, was einem guten Kompromiss aus Genauigkeit und Rechenkapazitätsbedarf entspricht. Zusätzlich zum Projektgebiet werden zwei umliegende Einzugsgebiete mit einer 12 m Auflösung auf Basis von Geländemodellen aus Satellitendaten berechnet, die ins Projektgebiet entwässern und essentiell sind, um die Randbedingungen des Projektgebietes im Sinne eines Zu- und Abflusses abbilden zu können. Aus den Ergebnissen dieser numerischen Berechnungen können dann für relevante Niederschlagsereignisse die entsprechenden Überflutungsflächen und Fließgeschwindigkeiten im Projektgebiet dargestellt und Hochwassergefahren- sowie -risikokarten visualisiert werden (**Bild 1**).

Eine Plausibilisierung der Überflutungsdaten wird sich auf wenige vorhandene Flutmarken im Projektgebiet sowie Einschätzung und Bewertung lokaler Experten stützen. Exakte Aufzeichnungen historisch überfluteter Gebiete konnten bisher nicht ermittelt werden.

Die Hochwassergefahren- und -risikokarten dienen zunächst zur Unterstützung der Katastrophenvorsorge und der Erstellung von Notfallplänen, da zum Beispiel sichere Evakuierungsrouten ermittelt werden können. Eine weitere Anwendung ist die Auswahl eines Standortes für die Trinkwasseraufbereitungsanlage Paula, die

vor Hochwasser geschützt und im Hochwasserfall weiterhin zugänglich für die Bevölkerung sein muss.

## Von Drohnenfotos zu sicherem Trinkwasser

Auf Basis der Drohnenfotos konnten unterschiedliche Arten der Trinkwasserquellen in dem Untersuchungsgebiet identifiziert werden. Am Institut für Hygiene und Public Health (IHPH) der Universität Bonn wurden anhand der Aufnahmen mehr als 200 Quellen in der Nähe der Wohnhäuser erfasst und die Art der Wassergewinnung bestimmt. Es konnte so z. B. zwischen gefassten Grundwasserbrunnen mit Handpumpen und teils offenen, gegrabenen, nicht gefassten Brunnen unterschieden werden (**Bild 2**). Auch Strukturen der Wasserspeicherung und -verteilung konnten anhand der Bilder sicher ermittelt werden. Diese Wasserversorgungsstrukturen wurden im Anschluss vom IHPH innerhalb einer Haushaltsbefragung zur Wasser- und Sanitärversorgung sowie Risikowahrnehmung exemplarisch überprüft. Die Haushaltsbefragung stütze sich auf zufällig ausgewählte Haushalte, die homogen in vier Teiluntersuchungsgebieten mit jeweils unterschiedlicher Bevölkerungsdichte verteilt waren, so dass ein repräsentatives Bild der Trinkwassernutzung im gesamten Untersuchungsgebiet abgebildet werden konnte. Im Ganzen wurden 195 Haushalte befragt und die Trinkwasserversorgung dieser Haushalte erfasst. Anhand der WHO Sanitary Inspection Sheets, die unter anderem in dem *Field Guide to Improving Drinking-Water Safety in Small Communities* enthalten sind [4], wurden die Trinkwasserquellen vom IHPH klassifiziert und hierdurch das hygienische Risiko für diese Trinkwasserquellen objektiv darstellbar. Wasserquellen wurden in die Kategorien „sehr hohe“, „mäßig hohe“ und „geringe Anfälligkeit“ gegenüber externen Einflüssen eingeteilt. Auch wurde deutlich, dass viele Haushalte sowohl eine eigene, private Wasserversorgung nutzen als

auch Wasserquellen, die von mehreren Haushalten zusammen genutzt werden. Für die Wahl der Trinkwasserquelle ist dabei nicht ausschließlich die Entfernung zum Haushalt maßgebend.

Basierend auf der Art der Wasserquelle, der Nutzungsintensität, des Risikos gegenüber externen Einflüssen und der Lage im Untersuchungsgebiet wurden 30 Trinkwasserquellen für die Analyse der hygienisch-mikrobiellen Trinkwasserqualität ausgewählt. Die Wasserproben werden durch die kamerunischen Partner genommen und an der Universität Jaunde 1 analysiert. Erste Untersuchungen mit mikrobiellen Schnelltests (Letzttest tube) zeigten sowohl in äußerlich gut gefassten Trinkwasserbrunnen als auch in den offenen Brunnen fäkale Verunreinigungen an. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer Trinkwasseraufbereitung zur Sicherung der Trinkwasserqualität.

## Entwicklung eines Betreiberkonzepts für eine dezentrale Trinkwasseraufbereitungsanlage am Beispiel SOA

Um einen nachhaltig erfolgreichen Betrieb der Paula-Trinkwasseraufbereitungsanlage zu gewährleisten, ist es notwendig, lokale Strukturen mit definierten Rollen und Verantwortlichkeiten zu etablieren. Das Betreiberkonzept wird federführend vom Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e. V. entwickelt. In Kamerun wurden in den letzten Jahrzehnten diverse Projekte zur Verbesserung der Infrastruktur und Versorgung durchgeführt, nach deren Ende u. a. aufgrund fehlender Einbindung der Bevölkerung die neu geschaffenen baulichen Objekte nicht gewartet oder Opfer von Vandalismus und Diebstahl wurden. So existieren beispielsweise zahlreiche, teils aufwändig konstruierte Brunnen, die schon wenige Jahre nach Eröffnung nicht mehr betrieben werden konnten.

Im Projekt INTEWAR wurde bewusst ein kooperativer und partizipativer Ansatz gewählt, bei dem die kamerunischen Partner in

alle Entscheidungsprozesse eingebunden sind und das deutsch-kamerunische Konsortium mit relevanten Stakeholdern vor Ort in einem Dialogprozess zusammenkommt. Die lokalen Akteure werden zu Workshops in Soa eingeladen und sind neben Vertretungen der Stadt- und Distriktverwaltung, lokalen Ingenieuren, Mitarbeitenden aus dem Gesundheitswesen auch Mitglieder der Zivilgesellschaft. In einem ersten Workshop im Oktober 2021 wurden von den deutschen und kamerunischen Projektpartnern der Universität Jaunde 1 und der kamerunischen NGO Ciel Bleu die Projektinhalte und Ziele vorgestellt. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der gemeinsamen Erarbeitung von Standort- und Betriebskriterien, die für die Wasseraufbereitungsanlage erfüllt werden müssen. Die folgenden Kriterien wurden, von den anwesenden Teilnehmenden, für einen langfristigen Erfolg definiert:

1. Nachhaltigkeit und gewährleistete Flächenabdeckung der Wasserversorgung sowie gute Zugänglichkeit auch im Katastrophenfall durch die Wahl des Standorts,
2. Möglichkeit der Wartung, z. B. durch gute Anbindung und Erreichbarkeit durch das operative Personal,
3. Erarbeitung eines Betreibermodells unter Einbindung aller Interessensgruppen (Stadtverwaltung, Zivilgesellschaft) und Etablierung eines Wasserkomitees,
4. Capacity building, Risikobewusstsein und Informationsmanagement,
5. Klare Definition der Rollen und Verantwortlichkeiten, z. B. Trennung zwischen dem operativ-technischen Betrieb und der finanziellen Verwaltung,
6. Einbeziehung aller Bevölkerungsgruppen und Geschlechtergleichstellung,
7. Wissenschaftlich begleitendes Monitoring der Wasserqualität.

In einem zweiten Workshop im Februar 2022 wurde gemeinschaftlich ein geeigneter Standort für die Trinkwasseraufbereitungsanlage an einem Gesundheitszentrum in Soa ausgewählt. Die Rohwasserquelle ist ein Handpumpenbrunnen, der durch die St. Mar-



**Bild 2:** Beispiel eines vergrößerten Ausschnitts eines Luftbildes der Drohne mit deutlich erkennbaren Brunnen



© Schueller, 2022

**Bild 3:** Health center in SOA mit Brunnen und Handpumpe

tinstiftung mit Sitz in der Schweiz und Otele in Kamerun gebaut wurde (**Bild 3**). Es existiert ein lokales Wasserkomitee, das für den Brunnen verantwortlich ist und in die weitere Planung und Erarbeitung des Betreibermodells eingebunden wird.

## Anspruch des INTEWAR-Projektes

Die Verunreinigung des Wassers für den menschlichen Gebrauch in Kamerun stellt besonders nach Hochwasserereignissen eine erhebliche und unmittelbare Bedrohung für die Gesundheit der Bevölkerung dar. Im Rahmen des INTEWAR-Projektes wird beispielhaft ein solides Katastrophenmanagement für die nachhaltige Trinkwassersicherheit entwickelt, das auf ganzheitlicher Betrachtung und Eigenverantwortung beruht.

Dazu werden handelsübliche Drohnen, frei verfügbare Software und eine robuste Wasseraufbereitungsanlage mit Trainingsmaßnahmen und Wissensvermittlung für die Bevölkerung kombiniert. Das INTEWAR-Konsortium strebt dabei an, die Trinkwasserversorgung im Katastrophenfall in den Pilotgebieten zu verbessern und weitere Projekte und Initiativen zu Wassermanagement und Risikokommunikation zur Förderung der Gesundheit in Kamerun zu motivieren.

## Danksagung

Das vorgestellte Forschungs- und Entwicklungsprojekt INTEWAR (Förderkennzeichen 13N15239-43) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Verein Deutscher Ingenieur (VDI) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den

Autoren. Die Veröffentlichung basiert auf den Ergebnissen aus dem Projekt und wir danken allen Projektpartnern für die hervorragende Zusammenarbeit.

Projektpartner in INTEWAR neben dem deutschen Projektkonsortium sind die Universität Yaoundé I, Ciel Bleu, Société de Géomatique et d'Expertise Foncière à l'International (SOGEFI) und AURA Cameroun.

## Literatur

- [1] World Bank (2022): Urban population (% of total population) – Cameroon, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=CM>, Accessed 10 March 2022
- [2] ECD/SWAC (2020), Africa's Urbanisation Dynamics 2020: Africapolis, Mapping a New Urban Geography, West African Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b6bccb81-en>.
- [3] Macro International (2004), Inc. Cameroon demographic and health survey. Mother and child mortality. Calverton, MD: Macro International, Inc; 2004. p. 322.
- [4] WHO (2014): Water Safety Plan: a Field Guide to Improving Drinking-Water Safety in Small Communities, z, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329537>, Accessed 10 March 2022

## Autoren

**Dr.-Ing. Lennart Schelter**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf**

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University

Mies-van-der-Rohe-Straße 17, 52056 Aachen

[schelter@iww.rwth-aachen.de](mailto:schelter@iww.rwth-aachen.de)

[schuetttrumpf@iww.rwth-aachen.de](mailto:schuetttrumpf@iww.rwth-aachen.de)

**Mark Braun, M. Sc.**

**Sophia Schüller, M. Sc.**

**Dipl.-Ing. Manuel Krauß**

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.

Kackerstraße 15 – 17, 52072 Aachen

[braun@fiw.rwth-aachen.de](mailto:braun@fiw.rwth-aachen.de)

[schueller@fiw.rwth-aachen.de](mailto:schueller@fiw.rwth-aachen.de)

[krauss@fiw.rwth-aachen.de](mailto:krauss@fiw.rwth-aachen.de)

**Dr. Andrea Rechenburg**

**Dr. Christian Timm**

Institut für Hygiene und Public Health, GeoHealth Centre

Universitätsklinikum Bonn

Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn

[andrea.rechenburg@ukbonn.de](mailto:andrea.rechenburg@ukbonn.de)

[christian.timm@ukbonn.de](mailto:christian.timm@ukbonn.de)



Trinkwasser



Slavik, I.: Lösungsansätze für Klimawandel bedingte Herausforderungen in der Trinkwasserversorgung. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 11/2021. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021. [www.springerprofessional.de/link/19821332](http://www.springerprofessional.de/link/19821332)

Krauß, M.; Wasielewski, S. et al.: Entwicklung von Trinkwasser- und Abwasserkonzepten in der Metropolregion Lima/Peru. In: WASSER UND ABFALL, Ausgabe 7-8/2019. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019. [www.springerprofessional.de/link/17064806](http://www.springerprofessional.de/link/17064806)